

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Návrh vhodných obráběcích nástrojů a řezných parametrů
pro obrábění plastů

Suitable Cutting Tools and Cutting Parameters Proposal for
Plastic Material Machining

Student:

Bc. Tomáš Křivohlávek

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Křivohlávek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh vhodných obráběcích nástrojů a řezných parametrů pro obrábění plastů**
Suitable Cutting Tools and Cutting Parameters Proposal for Plastic Material Machining

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Obrábění plastů - teorie a technologie.
3. Návrh technologie obrábění vybraných plastových součástí.
4. Návrh obráběcích nástrojů a řezných parametrů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
[2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
[3] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
[4] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**


Konzultant diplomové práce: Ing. Pavel Vašátko

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013


Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřisežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě18.5.2013.....

.....*Kučerka*.....
podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 18.5.2013

.....*Křivohlávek*.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Tomáš Křivohlávek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Horní Čermná Nepomuky 11 PSČ 563 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Křivohlávek T. *Návrh vhodných obráběcích nástrojů a řezných parametrů pro obrábění plastů: diplomová práce* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 56 s., Vedoucí práce: Čep, R.

Diplomová práce je zaměřena na návrh vhodných nástrojů a řezných parametrů pro obrábění plastových součástí. Práce byla realizována ve firmě LUX s.r.o.

V první části práce je popis plastových materiálů a technologie jejich zpracování. V dalších částech je popis dané problematiky a informace o použitých materiálech a vybraných výrobcích nástrojů. Dále je zde popis kompletní technologie výroby zadaných součástí, porovnání nástrojů a porovnání strojních časů. Závěrem práce je technicko-ekonomické zhodnocení použitelnosti navrhovaných nástrojů.

ANNOTATION OF THE MASTER THESIS

Křivohlávek T. *Suitable Cutting Tools and Cutting Parameters Proposal for Plastic Material Machining: Diploma Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2013, 56 p. Thesis head: Čep, R.

This thesis was carried out at LUX s.r.o. and focuses on the design of appropriate tools and cutting parameters for the machining of plastic parts.

The first part deals with the description of plastic materials and their processing technology, followed by an introduction to the issues and information on the materials used and the selected tool manufacturers. Then the thesis goes on to describe the entire production technology of specified components and to compare the tools and machinery times. The conclusion of this work is a techno-economic assessment of the applicability of the proposed tools.

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za jeho vedení a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat firmě LUX spol. s r. o. za pomoc při vytváření diplomové práce, zejména pak panu Ing. Pavlu Vašátkovi a panu Václavu Matějkovi Dis.

Tomáš Krivohlávek

Obsah diplomové práce

Seznam použitých zkratek a symbolů	9
Úvod.....	10
1. Obecná charakteristika daného problému	11
1.1 Údaje společnost LUX s.r.o.	12
2. Plastové součásti	13
2.1 Základní dělení plastů	14
2.1.1 Podle Působení teploty.....	14
2.1.2 Podle aplikace a podle konstrukční složitosti vyráběných dílů	14
2.1.3 Podle nadmolekulární struktury	14
2.1.4 Podle druhu přísad	15
2.2 Vlastnosti plastových součástí	16
3. Technologie zpracování plastů	17
3.1 Vstřikování.....	17
3.2 Třískové Obrábění plastů	19
3.2.1 Specifika obrábění plastů.....	20
3.2.2 Nástroje.....	21
4. Vlastnosti použitých materiálů	32
4.1 Plast Murtfeldt "S"	32
4.2 Polyoxymethylen copolymer (POM-C)	33
5. Stroj MCV 750.....	34
6. Navrhování výrobci nástrojů	35
6.1 Gühring	35
6.2 Cerin.....	36
7. Výrobní postupy	37
7.1 Výrobní postup součásti 1	37

7.2	Výrobní postup součásti 2	39
8.	Návrh nástrojů pro dané operace	41
8.1	Součást 1	42
8.2	Součást 2	46
9.	Ekonomické zhodnocení navrhovaných nástrojů	50
9.1	Vyhodnocení časů výroby	50
9.2	Konečné náklady na výrobu	51
9.3	Náklady na nástroje	52
10.	Závěr	53
11.	Seznam použité literatury	54
12.	Seznam příloh	56

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka/Symbol	jednotky	popis
ae	mm	pracovní záběr
ap	mm	hloubka záběru třísky
CAM		počítačem podporovaná výroba
CNC		počítačově řízené stroje
ČSN		Česká státní norma
D	mm	průměr nástroje
EN		Evropská norma
Fn	mm/U	posuv u vrtání
Fz	mm/zub	posuv u frézování
HM		Hard metal
HSCO		High Speed Cobalt
HSS-E		vysoce výkonná rychlořezná ocel
ISO		Mezinárodní norma
IT		třída přesnosti
PA		polyamidy
PC		polykarbonáty
PE		polyolefiny
PS		polystyrény
PSU		polysulfon
PU		polyuretan
PVC		polyvinylchlorid
Ra	Mpa	mez kluzu materiálu
Rm	Mpa	mez pevnosti materiálu
RO		rychlořezná ocel
SK		slinutý karbid
vc	m.min ⁻¹	řezná rychlost
αo	°	úhel hřbetu
εr	°	úhel špičky
λ	°	úhel sklonu šroubovice
γo	°	úhel čela
κr	°	úhel nastavení hlavního ostří

Úvod

Strojírenství patří mezi jedny z nejvýznamnějších průmyslových oborů. Pod pojmem strojírenství si můžeme představit kompletní výrobu dané součásti od návrhu až po kompletní výrobu. Na tuto výrobu jsou kladeny stále větší požadavky. Mezi základní požadavky patří přesnost, tvarová složitost, rychlost výroby a samozřejmě co nejnižší cena součásti.

Ve strojírenství je velké množství materiálů, které máme možnost využít pro výrobu. Dříve jsme byli zvyklí používat klasické materiály, jako jsou například oceli, litiny, nebo neželezné kovy, mezi nimiž byly nejvíce rozšířeny slitiny hliníku. Dnes je mnoho součástí nahrazováno plasty a kompozitními materiály. Látky polymerní povahy (plasty), se stále více prosazují v konstrukci součástí. Na jednu stranu se stávají velkou konkurencí pro kovové materiály, na druhou stranu umožňují zcela nová řešení problematiky v konstrukci součástí.

Používání plastů a kompozitních materiálů ve výrobě součástí je především podmíněno jejich vlastnostmi. Mezi základní vlastnosti použití plastů patří např. snížení hmotnosti, korozní odolnost, izolační vlastnosti a mnoho dalších, zejména mechanických vlastností (pevnost a modul pružnosti přibližující se kovovým materiálům, vysokou rázovou a vrubovou houževnatost, odolnost proti šíření trhlin atd.) tyto materiály jsou nejvíce rozšířeny v leteckém a automobilovém průmyslu. Ale pro své dobré mechanické vlastnosti jsou uplatňovány i v konstrukci strojů.

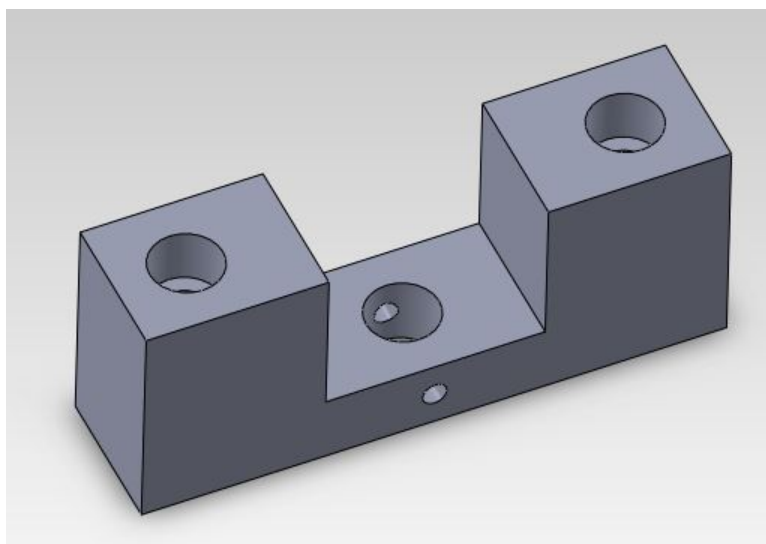
Tato diplomová práce se zabývá návrhem nástrojů a řezných parametrů pro výrobu součástí z plastů. V první části práce jsou popsány plastové materiály a možnosti jejich zpracování. Praktická část diplomové práce zahrnuje technologické postupy výroby, popisy použitých materiálů a nástrojů. Je zde kompletní porovnání nástrojů, které jsou běžně užívány a nástrojů, které jsou touto prací navrženy. V závěru této práce je uvedené ekonomické zhodnocení návrhů. Tato práce byla zhotovena ve spolupráci s firmou LUX s.r.o., která má sídlo v Jablonném nad Orlicí.

1. Obecná charakteristika daného problému

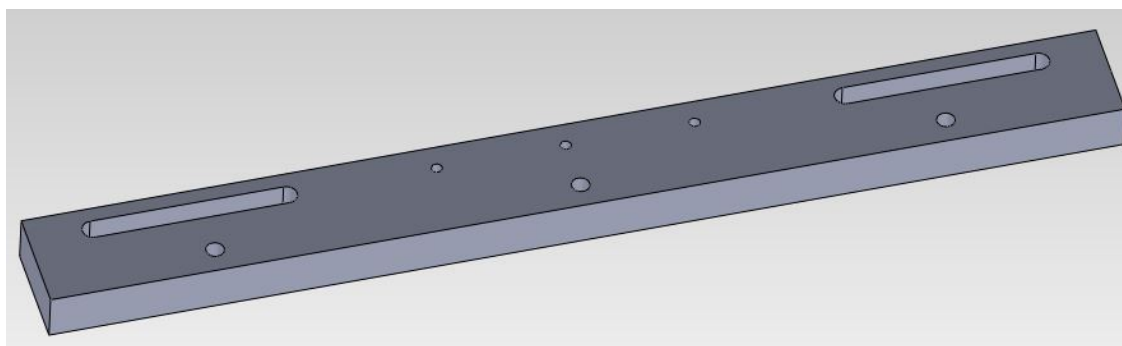
Diplomová práce je zhotovena pro firmu LUX. Hlavním úkolem je návrh vhodných nástrojů a řezných podmínek pro výrobu plastových součástí, který jsou vyráběny ze dvou typů materiálů. Firma LUX používá univerzální nástroje, které jsou určeny převážně pro obrábění ocelí. Hlavním úkolem této práce je vyhodnocení nástrojů určených na tyto materiály a ekonomické zhodnocení. Tyto součásti budou obráběny na CNC frézce MCV 750A.

Součást s označením 1 (Obr. 1) je vyráběna z materiálu POM-C. Tento materiál má větší pevnost a proto je vhodný na tento tip použití.

Součást 2 (Obr. 2) je vyrobena z materiálu Murtfeldt S. Především proto, že tento materiál velmi dobře tlumí rázy a má velmi dobrou otěruvzdornost.



Obr 1. Součást 1



Obr 2. Součást 2

1.1 Údaje společnost LUX s.r.o.



Hlavním oborem firmy LUX s.r.o. je navrhování a výroba jednoúčelových strojů, testovacích zařízení, výrobních linek, montážních linek a jiných strojů dle požadavků zákazníka. Vyrábí stroje pro elektrotechnický, automobilový průmysl a tvářecí stroje.

Firma vyrábí:

- Výrobní zařízení pro kondenzátory.
- Výrobní zařízení pro konektory.
- Stroje pro výrobu pružných kontaktů.
- Podávací a třídící zařízení pro testování polovodičů v pouzdrech.
- Stroje pro mikro svařování elektrickým odporem.
- Moduly pro výrobní linky.
- Zařízení na montáž multifunkčních páčkových přepínačů pod volantem automobilů. [11.]

Příklad zařízení, které firma vyrábí:



Obr. 3 Stroj na tlakové snímače



Obr. 4 Robotická buňka pro montáž vzduchotechniky

2. Plastové součásti

V moderním strojírenství jsou požadovány takové vlastnosti součástí, které nejsme schopni pomocí kovových materiálů vůbec dosáhnout. Jde zejména o konstrukční požadavky, kde plasty velmi často nahrazují jiné materiály. Možnost používat plastové součásti nám vyřešila spoustu problémů při konstruování součástí například do potravinářského průmyslu, kde je kladen velký důraz na chemickou odolnost materiálů. Plasty nám v takovýchto prostředích splňují spoustu požadavků, kde bylo problematické využívat kovové materiály.

K těmto požadavkům se přidávají také nároky na samotnou rychlost výroby, kvalitu součásti a v neposlední řadě cena výrobku, která je v mnoha případech na prvním místě pro volbu součástí z plastu. V mnoha případech je také volena kombinace plastové a kovové součásti například technologií lisování, kde dokážeme využít přednosti obou materiálů.

Plasty mají stále největší uplatnění v automobilovém průmyslu. Nejpoužívanější technologií zpracování plastů v automobilovém průmyslu je samozřejmě vstřikování, které plní, jak tvarovou složitost, tak i nároky na ekonomické náklady výroby. V poslední době se však plastové součásti stále více prosazují i ve výrobě strojů a zařízení, kde jsou využívána pro své dobré mechanické vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti patří například výborné pohlcování rázů a nárazů, které je využíváno u tlumících mechanismů, nebo vynikající kluzné vlastnosti, které se využívají u pohybových mechanismů.

2.1 Základní dělení plastů

Plasty je možno dělit podle různých kritérií:

2.1.1 Podle Působení teploty

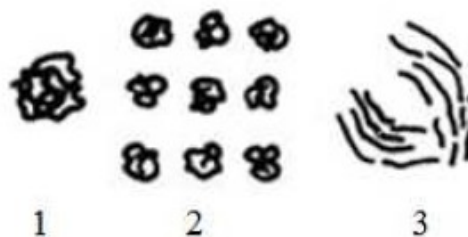
- **Termoplasty** – jedná se o polymer, který při zahřívání přechází do plastického stavu. V tomto stavu je snadno tvářitelný a vhodný pro různé technologie. Při zahřátí nedochází k chemickým změnám, proto je možno tento proces opakovat. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot (polyetylen, polypropylen, polystyren, polyvinylchlorid, polyamid).
- **Reaktoplasty** – tyto polymerní materiály při zahřívání měknou, ale při překročení určité meze dochází k chemické reakci a tyto materiály tvrdnou. Tento děj je nezvratný. Při opětovném zahřívání se materiál rozpadá tzv. degradace. Náleží sem epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod.
- **Kaučuky, pryže, elastomery** – tyto polymerní materiály při zahřívání měknou, ale při překročení určité meze dochází k chemické reakci tzv. vulkanizaci. [4]

2.1.2 Podle aplikace a podle konstrukční složitosti vyráběných dílů

- **Plasty pro široké použití** - polyolefiny (PE), polystyrény (PS), polyvinylchlorid (PVC),
- **Plasty pro inženýrské aplikace** - polyamidy (PA), polykarbonáty (PC), polyuretan (PU) atd.
- **Plasty pro špičkové aplikace** – polysulfon (PSU) [4]

2.1.3 Podle nadmolekulární struktury

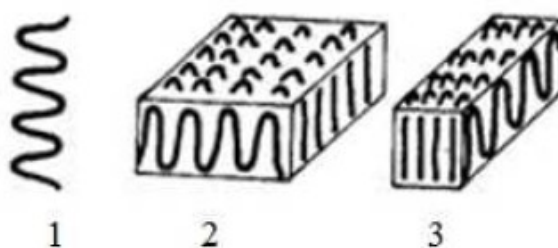
- **Amorfní plasty** – makromolekuly zde zaujímají nahodilou pozici. Mezi základní charakteristiky patří tvrdost, křehkost, vysoká pevnost. Vzhledem k nízkému indexu lomu jsou půhledné. [4]



obr.5) Nadmolekulární struktura amorfních plastů [4]

1. globul 2. uspořádaný globul 3. svazek

- **Krystalické (semikrystalické) plasty** – mají určitý stupeň uspořádání. Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty také označují jako semikrystalické. Patří sem PE, PA, atd. Tyto materiály mají větší index lomu, díky tomu nejsou průhledné. Mají větší pevnost a modul pružnosti než materiály amorfní [4]



Obr 6. Nadmolekulární struktura krystalických plastů

1 - proužek, 2- lamela, 3 -fibrila [4]

2.1.4 Podle druhu přísad

Neplněné plasty – U takovýchto materiálů množství přísad zásadně neovlivní vlastnosti materiálu

Plněné plasty – plnivo ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti plastů.

plnivo ovlivňuje fyzikální i mechanické vlastnosti plastu. Makromolekulární látka plní funkci pojiva a určuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu. Mezi základní přísady patří stabilizátory, změkčovadla, tvrdidla atd. Tyto materiály zásadně zlepšují mechanické a chemické vlastnosti. Některé přísady však materiál jen zlevňují. [4]

2.2 Vlastnosti plastových součástí

- pevnost a modul pružnosti přibližující se kovovým materiálům
- odolnost proti únavě lepší než u kovů;
- vysokou rázovou a vrubovou houževnatost a odolnost proti šíření trhlin;
- vysokou teplotní odolnost (vysokou teplotu skelného přechodu nebo tání);
- schopnost tlumení vibrací;
- balistické vlastnosti;
- nehořlavost;
- bariérové vlastnosti;
- kvalitu povrchu třídy A, výrobu komponent, které nevyžadují lakování;
- nízkou, případně nulovou teplotní roztažnost;
- elektrickou vodivost;
- korozní odolnost proti vysoce agresivnímu prostředí;
- recyklovatelnost.

[1.]

3. Technologie zpracování plastů

3.1 Vstřikování

Tato technologie patří mezi nejrozšířenější. Vstřikováním plastů se vyrábějí kompletní součásti nebo polotovary pro další zpracování. Tyto výrobky se vyznačují velmi dobrou tvarovou i rozměrovou stálostí a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností.

Touto technologií jsme schopni zpracovat téměř všechny druhy termoplastů. Ve zvláštních případech jsou používány i reaktoplasty a kaučuky.

Vstřikování je způsob tváření plastu, při kterém je přesné množství materiálu vstříknuto do formy, kde tento materiál tuhne. Po ztuhnutí je součást hotova a připravena k dalšímu použití.

Postup vstřikování je následující:

Plast, který je v podobě granulí je nasypán do násypky, odkud si stroj pomocí dopravníku odebírá vhodné množství materiálu. Tento dopravník materiál dopraví do tavicí komory kde je materiál za působení tření a topení převeden na taveninu. Ta je následně vstříknuta do prostor formy, kde vyplní celou dutinu. Za působení tlaku je sníženo smrštění a rozměrové změny, ke kterým při ochlazování dochází. Po otevření je materiál vyhozen.

Mezi hlavní výhody vstřikování patří:

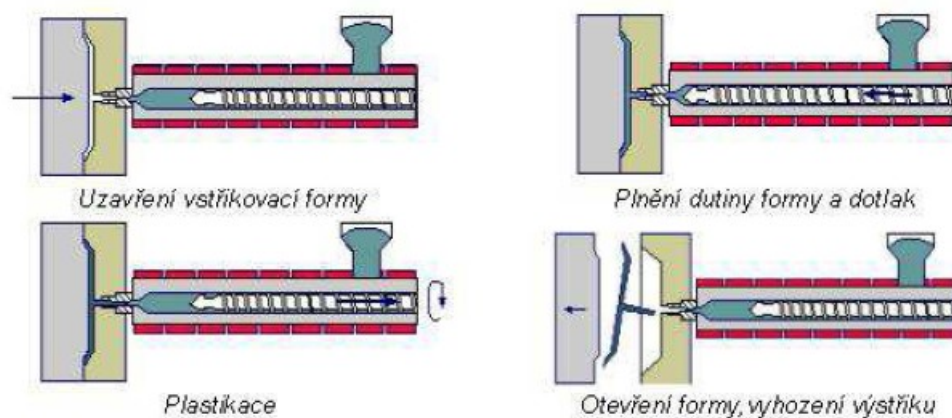
- Krátký čas cyklu
- Schopnost vyrábět složité tvary
- Dobré tolerance rozměrů
- Konstrukční flexibilita

Nevýhody vstřikování:

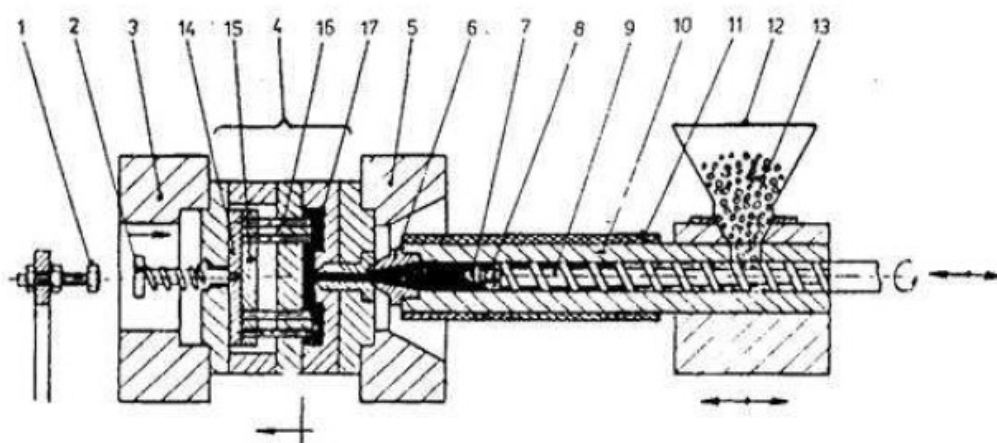
- Velké investiční náklady do vstřikovacího stroje a vstřikovací formy
- Dlouhé doby nutné pro výrobu forem
- Velký stroj v porovnání s malým výrobkem

Vstřikovací cyklus:

- Uzavření formy
- Vstříknutí plastu do dutiny vstřikovací formy
- Chlazení a dotlak (Chlazení začíná vstupem taveniny do dutiny formy a trvá až do otevření formy a vyjmutí výstříku. Dotlak kompenzuje smrštění během chladnutí, zabraňuje vzniku propadlin a vnitřních vad. Trvá až do zatuhnutí výrobku.)
- Plastifikace nové dávky plastu
- Otevření formy
- Vyhození hotového výstříku [2]



Obr 7. Vstřikovací cyklus [4]



Obr. 8 Schéma vstřikovacího stroje se šnekovou plastikací [4]

(1 – doraz, 2 – tyč vyhazovače, 3, 5 – upínací desky, 4 – forma, 6 – vstřikovací tryska, 7 – špice šneku, 8 – zpětný uzávěr, 9 – šnek, 10 – tavicí komora, 11 – topná tělesa, 12 – násypka, 13 – granule plastu, 14 – deska vyhazovačů, 15 – kotevní deska, 16 – vyhazovače, 17 – výstřík)

3.2 Třískové Obrábění plastů

Třískové obrábění plastů je samozřejmě nezastupitelná technologie zpracování. Je využíváno především u kusové a malosériové výroby, kde není rentabilní výroba ekonomicky nákladných forem pro technologii vstřikování.

Základní vlastnosti pro obrábění plastů

- Větší tepelná roztažnost, která způsobí změnu rozměru
- Některé plasty mají velkou přilnavost. Ta působí opotřebení nástroje adhezním otěrem
- Díky malé tepelné vodivosti je nástroj více tepelně namáhán a může docházet k jeho rychlému opotřebení
- Mají menší řezný odpor, proto můžeme zvolit větší úhel čela a hřbetu
- U vyztužených plastů dochází k abrazivnímu otěru
- Tvoření třísky je ovlivněno strukturou materiálu
- Je nutné mít dokonale ostré nástroje
- u vyztužených plastů je měrný řezný odpor shodný s hodnotami udávanými u ocelí střední pevnosti ($R_m = 600$ až 700 MPa);
- u vyztužených plastů dochází k podobné tříске jako u litiny
- u anizotropních plastů hrozí vyštipování materiálu
- musíme klást velký důraz na teplotu obrábění termoplasty- měknou, reaktoplast- uhelnatí
- u některých plastů může dojít k bobtnání při styku s chladicí kapalinou
- plasty jsou náchylné na některé chemikálie [3]

Možnosti využití Třískového obrábění:

- Součásti pro jednoúčelové stroje
- Výroba prototypů součástí, které jsou po úspěšném testování převedeny na výrobu technologií vstřikováním.
- Obrábění rozměrných součástí, kde není možná výroba vstřikováním
- Součásti z plastů, které mají chemickou strukturu nevhodnou pro vstřikování
- Výroba náhradních plastových dílů

3.2.1 Specifika obrábění plastů

Při obrábění plastů je třeba respektovat některé vlastnosti, které jsou odlišné oproti kovům a je potřeba přizpůsobit jim technologické parametry obrábění. Mezi hlavní rozdíly patří teploty obrábění, které nám velmi ovlivňují výsledný povrch obrobeného materiálu. Díky menší tvrdosti plastových materiálů je třeba používat nižší utahovací síly při upínání součástí.

Přesnost obrábění

Přesnosti u obrábění plastů se nejčastěji pohybují ve třídě přesnosti IT 9- IT 11. Při požadavku vyšších přesností je nutno změnit technologický postup součást. Je třeba zahrnout do hrubovací a dokončovací operace, které nám zaručí vyšší přesnosti obrobené plochy. V některých případech je nutno využít mezioperační tepelnou úpravu, která nám odstraní vnitřní pnutí v materiálu.

Kvalita povrchu a rozměrová přesnost je především ovlivněna geometrií nástroje a jeho ostrostí, která je pro obrábění plastů zásadní. Jak je již zmíněno výše při otupení nástroje dochází ke zvýšení teploty v řezu a to zásadně ovlivňuje jakost obrobeného povrchu.

Tolerance u obrábění plastů bývají vyšší než u obrábění ocelí. Je to způsobeno zvýšeným koeficientem tepelné roztažnosti, bobtnáním vlivem absorpce vlhkosti a možnými deformacemi způsobenými vnitřním pnutím během obrábění. [12.]

Teplota

Především u termoplastů je nutné zamezit vzniku nežádoucího tepla, které má za následek měknutí materiálu a následné deformace součástí. Teploty u obrábění jsou zásadní pro jakost obrobeného povrchu. Je nutné docílit co nejnižších teplot v řezu.

Chlazení

Chlazením jsme schopni snížit teplotu při obrábění. U plastových dílů je nejčastěji používáno pro technologii vrtání a řezání, kde nám vzniká zvýšené tření. Pro chlazení je možné používat běžné chladicí kapaliny, nebo stlačený vzduch, který nám dobře odvádí třísky z místa řezu. Musíme si však dát pozor na vlastnosti materiálu. Například u amorfních materiálů hrozí praskání při výrazné změně teploty, proto není vhodná chladicí kapalina. [12.]

Upínání

Nízký modul pružnosti nám komplikuje možnosti upínání. U upínání obrobků je potřeba snížit upínací síly aby nedošlo k deformaci součásti, ale musíme zajistit dostatečné upnutí pro technologii obrábění.

Příklady upínání při frézování:

- Strojní svěráky
- Upínky
- Tenkostěnné ploché díly je možno upnout na vakuové desky

3.2.2 Nástroje

Pro obrábění plastů se nejčastěji používají monolitní nástroje. Nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami se pro obrábění plastů využívají jen zřídka. Nástroje na plasty jsou velmi podobné nástrojům na ocel, avšak se liší použitými úhly.

Nejčastěji je doporučeno používat nástroje ze slinutého karbidu, nebo polykrystalického diamantu. Tyto nástroje mají možnost využívat velké řezné a posuvové rychlosti, které u obrábění plastů z hlediska ekonomického vyžadujeme. Je nutné používat velmi ostré nástroje, abychom docílili požadovaných přesností, a kvality povrchu. Velmi často se pro obrábění plastu používají leštěné nástroje bez povlaků, které nám snižují tření mezi nástrojem a obráběnou plochou. Při otupení nástroje není tříska správně odřezávána a dochází k narušení či deformaci povrchu. Velikost přípustného opotřebení břitu nástroje se zde volí podstatně menší než u nástrojů pro obrábění kovů, neboť opotřeбенý břit vyvolává značné navýšení teploty v místě obrábění, což vede k přehřátí a zhnědnutí obrobku povrchu.

3.2.2.1 Materiály nástrojů

Nástrojové oceli

Nástrojové oceli jsou dnes zastoupeny především u nástrojů pro obrábění otvorů jako je např.: vrtáky, výstružníky, závitníky... Na tyto nástroje jsou kladeny vysoké nároky, které se často liší. Některé mají vysokou tvrdost, ale jiné musí být dostatečně houževnaté pro jejich využití.

Základní dělení:

1. chemického složení

- nelegované – oceli s nízkým obsahem uhlíku (max. 0,25%)
- oceli se středním obsahem uhlíku (0,25 – 0,6%)
- oceli s vysokým obsahem uhlíku (nad 0,6%)
- nízkolegované (součet leg. prvků do 5%)
- střednělegované (součet leg. prvků od 5 – 10%)
- vysokolegované (součet leg. prvků nad 10%)

2. druhu ochlazovacího prostředí

- kalitelné do vody
- kalitelné do oleje
- kalitelné do vzduchu

3. způsobu použití del normy ČSN 42 0075

- NA – oceli na řezné nástroje (strojní)
- NB – oceli na nástroje pro stříhání (strojní)
- NC – oceli na nástroje pro tváření (NCS za studena, NCT za tepla)
- ND – oceli na formy
- NE – oceli na nástroje pro drcení a mletí
- NF – oceli na ruční nástroje a nářadí
- NG – oceli na měřidla

Slinuté karbidy (SK)

Slinuté karbidy mají mnohem vyšší tvrdost a otěruvzdornost než nástrojové oceli, avšak mají menší houževnatost a jsou křehčí. Tyto materiály jsou velmi těžko obrobitelné a výroba těchto nástrojů je podstatně nákladnější než výroba nástrojů z nástrojových ocelí.

Při jejich použití můžeme dosahovat velmi vysokých řezných rychlostí. V dnešní době jsou nástroje z těchto materiálů nejpoužívanější, i když je jejich pořizovací cena podstatně vyšší než u materiálů z RO.

Můžeme je rozdělit na:

Nepovlakované SK

Rozdělení SK podle ISO z hlediska řezného procesu:

- P – vhodné pro plynulou třísku
- M – vhodné pro plynulou krátkou třísku
- K – vhodné pro krátkou třísku

Tyto skupiny jsou určeny řeznými podmínkami. Podskupiny jsou označeny dvoumístným číslem, které nám určuje houževnatost a jejich odolnost proti otěru. Podskupiny s nízkým číslem nám udávají velkou odolnost ale nižší houževnatost.

Základní karbidy pro výrobu různých druhů SK:

- Karbid wolframu.....WC
- Karbid titanu.....TiC
- karbid tantalu.....TaC
- karbid niobu.....NbC
- karbid chromu.....Cr C
- Pojivo je kobalt.....Co

S ohledem na složení se SK označují:

- jednokarbidové (K)
- dvojkarbidové (P)
- vícekarbidové (M).

Povlakované SK

Povlaky pro SK se používají pro zvýšení otěruvzdornosti těchto materiálů. Povlaky přispěli ke zvýšení doby v řezu. Tyto povlaky mohou být jednovrstvé nebo vícevrstvé.

První povlakovaný nástroj vyrobila firma Sandvic Coromant v roce 1969. Jednalo se o povlakovaný TiC o tloušťce vrstvy 4 - 5 μm .

Princip výroby povlakovaných slinutých karbidů

Tyto povlaky jsou nanášeny na podkladový materiál z SK. Je nanesena tenká vrstva, která zaručí vysokou tvrdost a vynikající odolnost. Díky tenké vrstvě je možno docílit dobrých vlastností (při větší tloušťce se tyto vlastnosti ztrácí). Hlavním důvodem výborných vlastností je, že povlaky neobsahují pojivo a mají jemnější zrno než povlakovaný materiál.

Vývojové stupně povlakovaných SK:

- 1. generace: jednovrstvý povlak (téměř výhradně TiC) s tloušťkou asi 7 μm
- 2. generace: jednovrstvý povlak (TiC, TiCN, TiN) bez eta-karbidu na přechodu podklad - povlak, tloušťka až 13 μm .
- 3. generace: vícevrstvý povlak (dvě až tři, případně i více vrstev) s ostře ohraničenými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Nejčastěji bývají jednotlivé vrstvy řazeny v tomto pořadí (od podkladu k povrchu): TiC-Al₂O₃, TiC-TiN, TiC-TiCN-TiN, TiC-Al₂O₃-TiN, TiCN-Al₂O₃-TiN.
- 4. generace: speciální vícevrstvý povlak (velmi často i více než 10 vrstev a mezivrstev), s méně či více výraznými přechody mezi jednotlivými vrstvami (užívají se stejné materiály povlaků jako u 3. generace). Výroba takového povlaku je umožněna cíleným řízením atmosféry v povlakovacím zařízení. [8.]

Základní principy nanášení:

- **Metoda CVD** (Chemical Vapour Deposition = chemické napařování z plynné fáze) probíhá za vysokých teplot (nad 1000 °C). Metoda byla až do začátku 90. let hlavní typem povlakování slinutých karbidů. K jejím výhodám patří výborná adheze mezi podkladem a povlakem, možnost nanesení vrstev o větší tloušťce (10 - 13 μm), povlakování předmětů složitějších tvarů a všestranný účinek. Za nevýhody lze považovat ovlivnění podkladového materiálu (snížení ohybové pevnosti), nemožnost povlakovat ostré hrany a tahová zbytková pnutí v povlaku. [8.]

- **Metoda PVD** (Physical Vapour Deposition = fyzikální napařování) Tuto metodu určuje použití nízkých pracovních teplot (pod 600 °C, podle některých pramenů i 350 °C). Tato metoda byla původně vyvinuta pro povlakování nástrojů z RO, v současné době je ve velkém rozsahu používána i u břitových destiček z SK pro frézování. Vytváří tlaková pnutí v povlaku, nemá špatný vliv na vlastnosti podkladu a je schopna napovlakovat ostré hrany. Na druhé straně vyžaduje mnohem důkladnější přípravu povrchu vzorku před povlakováním (odmašťování, čištění) a má směrový účinek (povlak je nanášen jen na povrch, který je požadován). K dalším nevýhodám patří tenčí vrstva povlaku a omezené použití druhů povlaků. [8.]

Základní druhy:

- TiN – nejrozšířenější vrstva. Oproti nepovlakovaným vykazuje o 30 – 40 % větší trvanlivost ostří.
- TiCN – vykazuje vysokou tvrdost a současně dobrou houževnatost.
- TiN. Použitelná pro frézování vysoce pevných ocelí.
- TiAlN – vyznačuje se vysokou tvrdostí za vyšších teplot, dobrou odolností proti oxidaci a nízkou tepelnou vodivostí. Vhodné pro vysokorychlostní obrábění.
- AlTiN – s podobnými vlastnostmi a dokonce vyšší tvrdostí než TiAlN.
- PKD-polykrystalického diamantu. [8.]

Řezná keramika

Keramické materiály jsou v podstatě slinuté korundy, které mají vysokou stálost až do teplot kolem 1600°C. Tyto materiály mají velmi dobré vlastnosti pro obrábění. Dnes jsou tyto materiály používány zejména na výrobu řezných destiček. Ty jsou určeny pro obrábění těchto materiálů:

- nástrojové oceli
- cementační oceli
- šedou a tvárnou litinu

Zlepšení mechanických vlastností (pevnost v tahu a ohybu, zvýšení tvrdosti při vysokých teplotách a odolnost proti otěru) se dosahuje jemnější strukturou korundové keramiky a výrobou směsné keramiky (přídavek karbidu titanu zvyšuje celkovou pevnost v ohybu a odolnost proti změnám teplot).

Základní rozdělení:

- **oxidová keramika:** - (Čistá keramika) obsahuje až 99,8% oxidu hlinitého a je doporučována pro dokončovací soustružení šedé litiny, uhlíkových a nízkolegovaných ocelí při použití řezné rychlosti nad 100m/min.
- **polosměsná keramika**
- **směsná keramika** vedle oxidu hlinitého obsahuje přísadu 20 – 40% karbidu titanu (TiC). Má vyšší tepelnou odolnost. Doporučuje se pro frézování šedé litiny a oceli, pro soustružení na čisto a jemné soustružení ocelí cementačních, zušlechtěné a tvrdé litiny.
- **nitridová keramika:** Keramika na bázi nitridu křemíku. doporučuje se pro dokončování i hrubování šedé litiny. Je vhodná i pro přerušované řezy, odolná vůči teplotním rázům, vhodná pro soustružení rázu pevných slitin na bázi niklu a též pro kolísající hloubku řezu. Keramické materiály je možno zhodnotit jako materiály s vysokou odolností vůči abrazivnímu opotřebení, odolností vůči chemickým vlivům, a vysokou odolností proti poklesu tvrdosti při vyšších teplotách vzhledem k ostatním řezným materiálům.

Supertvrdé řezné materiály

- polykrystalický kubický nitrid boru (PNKB)
- polykrystalický diamant (PD)

Tyto materiály mají vynikající vlastnosti pro obrábění, ale jejich využití je velmi nákladné. PNKB a PD představují dnes nejtvrdší používané materiály ve strojírenství.

V současné době do této skupiny supertvrdých řezných materiálů patří zejména:

- diamantové prášky
- prášky kubického nitridu boru
- brousící kotouče obsahující tyto komponenty
- diamantové brousící pasty
- kompozitní materiály
- řezné nástroje osazené segmenty PNKB nebo PD

3.2.2.2 Nástroje na obrábění reaktoplastů

Soustružnické nože:

Pro představu uvedme geometrické parametry bříty ze slinutého karbidu K20:
reaktoplasty s buničitým a textilním pojivem:

úhel čela $\gamma_o = 16^\circ$, úhel hřbetu $\alpha_o = 10^\circ$

reaktoplasty s azbestovým plnivem nebo dřevěnou moučkou:

$\gamma_o = 10^\circ$, $\alpha_o = 10^\circ$.

Frézovací nástroje:

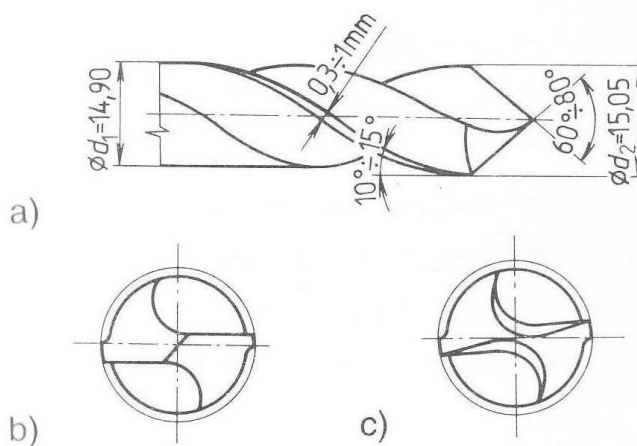
Je možné využít nástroje jako pro ocelové materiály.

Vrtáky – používají se vrtáky z SK nebo HSS.

Příklad provedení vrtáku o průměru 15 mm z rychlořezné oceli (Obr. 9).

Vrtáky s bříty ze slinutých karbidů mají tuto geometrii bříty:

úhel špičky $\epsilon_r = 60$ až 70° , úhel hřbetu $\alpha_o = 12^\circ$, úhel sklonu šroubovice $\lambda = 12^\circ$. [3]



Obr. 9. Příklad vrtáku na reaktoplasty

Řezné podmínky pro obrábění reaktoplastů [3.]

Tab. 1- řezné podmínky

Operace	Nástroj	Řezná rychlost	Posuv
Soustružení	RO	100 až 120 m.min ⁻¹	max. 0,6 mm na ot.
Soustružení	SK	160 až 200 m.min ⁻¹	max. 0,3 mm na ot.
Frézování	RO	50 až 160 m.min ⁻¹	0,2 až 0,5 mm na zub
Frézování	SK	200 až 800 m.min ⁻¹	0,04 až 0,6 mm na zub
Vrtání	RO	40 až 60 m.min ⁻¹	max. 0,5 mm na ot.
Vrtání	SK	80 až 140 m.min ⁻¹	max. 0,5 mm na ot.
Řezání	Kotoučová pila	250 až 350 m.min ⁻¹	
Řezání	Pásová pila	150 až 180 m.min ⁻¹	
Broušení	Bez chlazení	10 až 18 m.s ⁻¹	
Broušení	S chlazením	14 až 22 m.s ⁻¹	

3.2.2.3 Nástroje na obrábění vyztužených a vrstvených plastů

Soustružnické nože

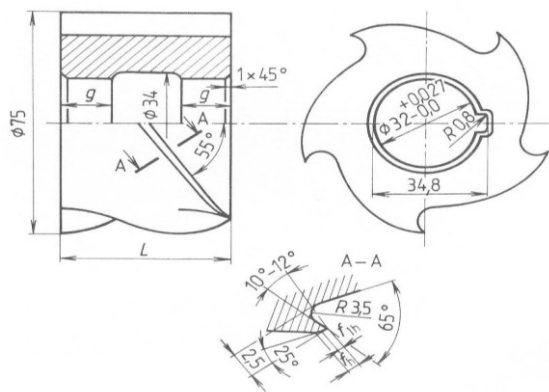
Příklad Geometrie bříty nože s bříty ze slinutého karbidu K20:

úhel čela $\gamma_o = 10^\circ$, úhel hřbetu $\alpha_o = 8^\circ$, úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 60^\circ$, úhel sklonu ostří $\lambda = -4^\circ$.

Frézovací nástroje

Používají se frézy s velkou roztečí zubů.

Příklad válcové frézy z RO je na obrázku (Obr. 10).

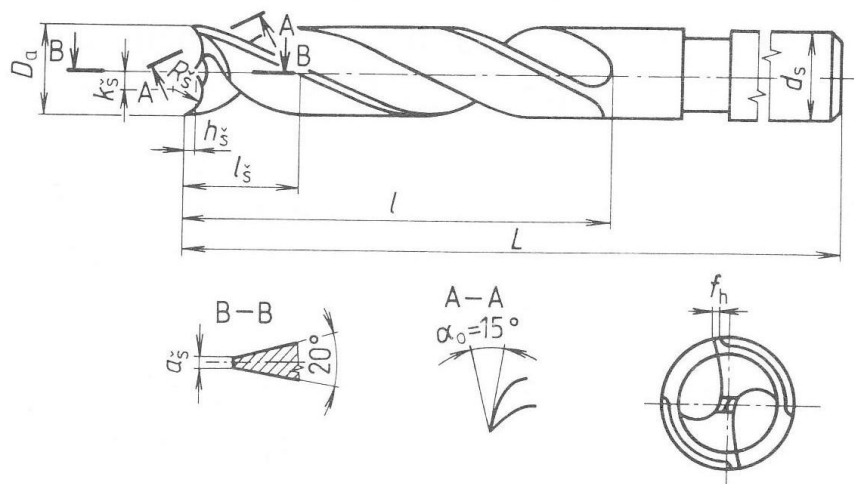


Obr. 10. Válcová fréza pro frézování vyztužených a vrstvených plastů [3.]

Vrtáky

Pro vrtání se používají šroubovitě vrtáky z RO, SK nebo ze syntetického diamantu. Příklad vrtáku z rychlořezné oceli je na obrázku (Obr. 11).

Geometrie špičky vrtáku s břity ze slinutého karbidu K20: úhel špičky $\varepsilon_r = 90$ až 130° , úhel hřbetu $\alpha_o = 12^\circ$, úhel sklonu šroubovice $\lambda = 12^\circ$. [3]



Obr. 11. Vrták na vrtání vyztužených a vrstvených plastů [3]

Řezné podmínky pro obrábění vyztužených a vrstvených plastů [3.]

Tab. 2- řezné podmínky

Operace	Nástroj	Řezná rychlost	Posuv
Soustružení	RO	450 m.min ⁻¹	0,1 až 1 mm na ot.
Soustružení	SK	700 m.min ⁻¹	0,2 až 0,7 mm na ot.
Frézování 1)	RO	max. 200 m.min ⁻¹	max .0,03 mm na zub
Frézování 2)	RO	300 až 350 m.min ⁻¹	0,1 až 0,2 mm na ot.
Frézování 1)	SK	250 až 300 m.min ⁻¹	0,2 až 0,5 mm na ot.
Frézování 2)	SK	400 až 450 m.min ⁻¹	0,1 až 0,2 mm na ot.
Vrtání	RO	20 až 60 m.min ⁻¹	0,07 až 0,2 mm na ot.
Vrtání	SK	100 až 140 m.min ⁻¹	0,2 až 0,3 mm na ot.
Řezání	Pásová pila	25 až 28 m.min ⁻¹	
Řezání	Kotoučová pila	10 až 12 m.min ⁻¹	0,2 až 1 mm na ot.
Broušení 3)	Brousicí kotouče	26 až 30 m.s ⁻¹	0,4 až 0,6 mm na ot.
Broušení	Brousicí pás	200 až 300 m.min ⁻¹	

1) souhlasně s vrstvami, 2) kolmo na vrstvy, 3) bez chlazení, hloubka řezu 0,1 až 0,15 mm.

3.2.2.4 Nástroje na obrábění termoplastů

Obrábění termoplastů je možné provádět všemi nástroji, je však nutné dbát na dobrý odvod tepla z místa řezu (zejména při obrábění PVC (*Polyvinylchlorid*)). Nástroje musí mít ostré a hladké břity, aby nedocházelo k nalepování materiálu obrobku na břit nástroje.

Soustružnické nože

Geometrie břitů soustružnického nože s břitem ze slinutého karbidu K20 pro obrábění

- polyvinylchloridu (PVC): úhel čela $\gamma_o = 25^\circ$, úhel hřbetu $\alpha_o = 10^\circ$, UTB
- polymethylmetakrylátu: $\gamma_o = 0$ až 10° , $\alpha_o = 6^\circ$, polyamidu: $\gamma_o = 0$ až 5° , $\alpha_o = 10^\circ$.

Frézovací nástroje

Pro frézování se používají frézy s velkou roztečí zubů (tzv. hrubozubé) s břity z rychlo-řezné oceli, slinutého karbidu nebo ze syntetického diamantu.

Geometrie břitů frézy s břity ze slinutého karbidu K20:

- úhel čela $\gamma_o = 10$ až 20° , úhel hřbetu $\alpha_o = 20^\circ$, úhel sklonu šroubovice zubů $\lambda = 45^\circ$.

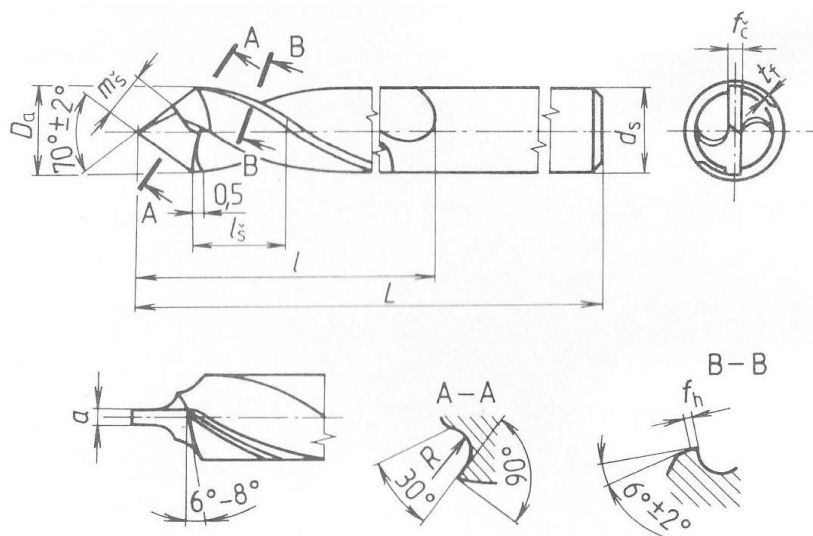
Vrtání

Příklad vrtáku z rychlořezné oceli je na obrázku (Obr. 12). Vrtáky s břity ze slinutého karbidu K20 mají tuto geometrii břitů:

Obr. 4. Vrták na vrtání termoplastů [1] Úhel špičky Úhel hřbetu Úhel sklonu šroubovice

- Vrtání polyvinylchloridu a polyamidu: $\epsilon_r = 90^\circ$, $\alpha_o = 15^\circ$, $\lambda = 25^\circ$,

Vrtání polymethylmetakrylátu: $\epsilon_r = 118$ až 135° , $\alpha_o = 15^\circ$, $\lambda = 25^\circ$. [3.]



Obr. 12. Vrták na vrtání termoplastů [3.]

Řezné parametry pro obrábění termoplastů [3.]

Tab. 3- řezné podmínky

Operace	Nástroj	Řezná rychlost	Posuv
Soustružení	RO	max. 300 m.min-1	max. 0,3 mm na ot.
Soustružení	SK	max. 800 m.min-1	max. 0,3 mm na ot.
Frézování	RO	120 až 200 m.min-1	0,3 až 1 mm na ot.
Frézování	SK	160 až 270 m.min-1	0,2 až 0,8 mm na ot.
Vrtání	RO	15 m.min-1	0,3 mm na ot.
Vrtání	SK	220 m.min-1	0,3 mm na ot.

4. Vlastnosti použitých materiálů

4.1 Plast Murtfeldt "S"

Je to materiál založen na ultravysokomolekulárním nízkohustotním polyetylénu. Tento materiál je vhodný pro použití na kluzná ložiska, vedení řetězů, otěruvzdorné kluzné segmenty, kluzné profily

Speciální vlastnosti

- Extrémně vysoká otěruvzdornost, dokonce v abrazivním prostředí
- Vynikající kluzné vlastnosti
- Vysoká rázová houževnatost
- Extrémně dobrá odolnost chemikáliím
- Vynikající pohlcení rázů a nárazů
- Dobré nelepivé vlastnosti
- Nenasákavost
- Elektrický izolant ("S" zelený, přírodní a barevný)
- Schválen pro použití v potravinářském průmyslu [7.]

Tab. 4- vlastnosti materiálu [7.]

Mechanické vlastnosti	Norma	Jednotky	Hodnota
Napětí na mezi kluzu / mez pevnosti	ISO 527	MPa	≥ 17/-
Tažnost	ISO 527	%	≥ 300
E - modul (zkouška v tahu)	ISO 527	MPa	700
Tvrdość shore (A/D)	ISO 2039-2	°	66
Vrubová houževnatost (Charpy)	ISO 179	kJ/m ²	≥ 170
Součinitel tření za sucha	-	-	0,1 – 0,2
Tvrdość vtiskem kuličky	ISO-2039	MPa	38
Tepelné vlastnosti			
Teplota tání	ISO 3146	°C	130-135
Maximální teplota použití na vzduchu			
-krátkodobě		°C	90
-dlouhodobě		°C	80
Minimální teplota použití		°C	-200

4.2 Polyoxymethylen copolymer (POM-C)

Je to velmi kvalitní konstrukční materiál. Řadíme ho mezi částečně krystalický termoplast. POM-C je díky své pevnosti a tvarové stálosti vhodný zejména pro použití na kluzné součásti. Tento materiál je vhodný pro třískové obrábění, kde tvoří krátké třísky.

Nejčastěji se využívá pro konstrukční díly v potravinářském průmyslu, jelikož má atest pro přímý styk s potravinami.

Speciální vlastnosti

- Vysoká pevnost
- Vysoká tuhost
- Vysoká tvrdost
- Dobrá rázová houževnatost i při nízkých teplotách
- Vysoká rozměrová stabilita
- Fyziologická nezávadnost
- Malé pohlcování vlhkosti [6.]

Tab. 5- vlastnosti materiálu [5.]

Mechanické vlastnosti	Norma	Jednotky	Hodnota
Napětí na mezi kluzu / mez pevnosti	ISO 527	MPa	65
Tažnost	ISO 527	%	27
E - modul (zkouška v tahu)	ISO 527	MPa	2700
Tvrdost shore (A/D)	ISO 2039-2	°	81
Rázová houževnatost (Charpy)	ISO 179	kJ/m ²	bez lomu
Vrbová houževnatost (Charpy)	ISO 179	kJ/m ²	6
Tvrdost vtiskem kuličky	ISO-2039	MPa	145
Tepelné vlastnosti			
Teplota tání	ISO 11357	°C	167
Maximální teplota použití na vzduchu			
-krátkodobě		°C	140
-dlouhodobě		°C	100
Minimální teplota použití		°C	-50

5. Stroj MCV 750

Jde o tříosé obráběcí centrum MAS MCV 750. KOVOSVIT. MAS je tradiční a největší český výrobce moderních obráběcích center a CNC soustruhů s velmi silným vývojovým a technickým zázemím. Stroj má řídicí systém Heidenhain TNC 426.

Technické údaje:

- Pojezd:
 $X = 750$
 $Y = 500$
 $Z = 500 \text{ mm}$
- Otáčky vřetena min-1: 20 – 13 000
- Kuželová dutina vřetena SK 40
- Zásobník nástrojů 20 poloh
- maximální průměr nástroje 80 mm
- upínací plocha stolu mm 1000 x 640
- maximální zatížení stolu kg 650
- jmenovitý výkon stroje 11,5Kw



Obr 13. Obráběcí centrum MCV 750

6. Navrhování výrobcí nástrojů

6.1 Gühring

Společnost Gühring, která je díky své více než stoleté tradici považována za světovou jedničku v produkci řezných nástrojů a upínačů pro průmyslové obrábění.

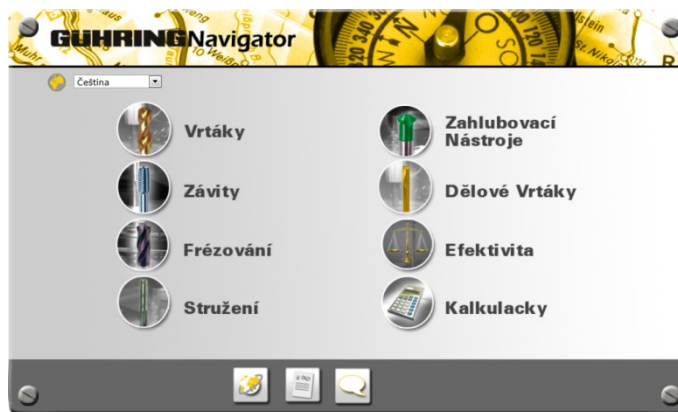
Společnost Gühring má také špičkově vybavené projektové oddělení, které je schopno navrhnout nástroje pro speciální operace, nebo nabídnout komplexní řešení daného problému, které obsahuje zavedení kompletní výroby součásti na daném stroji.

Nabídka nástrojů

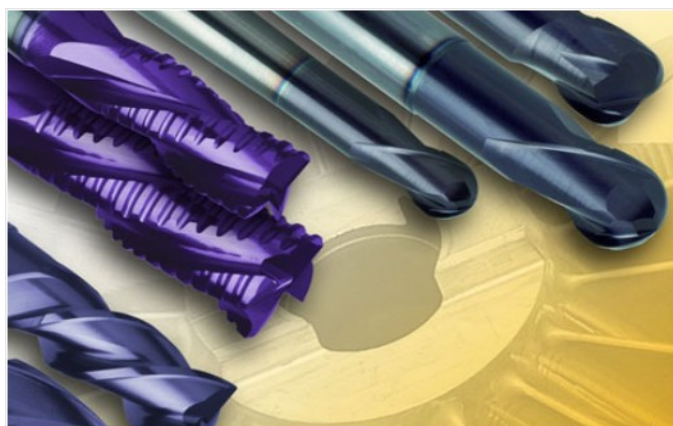
- Vrtáky
- Výstružníky
- Frézovací nástroje
- Závítové nástroje

Společnost je držitelem certifikátu ISO 9001 a ISO 14001

Firma Gühring nabízí, jako jedna z mála kompletní internetový program, který nám umožní dle zadaných informací volbu ideálního nástroje od této společnosti. [10.]



Obr 14 . Guehring navigátor



Obr 15 . Příklad nástrojů Guehring[10.]

6.2 Cerin

Firma cerin působí na světovém trhu od roku 1971. Tato firma je považována za jednoho z nejlepších italských výrobců nástrojů na trhu.

Společnost CERIN se zabývá výrobou nástrojů z tvrdokovových materiálů. CERIN nabízí nástroje pro všechny používané materiály např.: ocel, hliník, slitiny lehkých kovů, plasty, syntetická vlekna, mramor.

Materiály, které firma používá, patří k nejlepším na trhu, jedná se o mikrozrnité a submikrozrnité karbidové materiály.

Společnost je držitelem certifikátu EN ISO 90001:2008.

Nabídka nástrojů

- Stopkové frézy
- Dokončovací nástroje
- Karbidové nástroje pro obrábění plastů
- Vysokorychlostní nástroje na slitiny hliníku
- Vysokorychlostní nástroje pro kalené oceli
- Karbidové vrtáky, výstružníky, a záhlubníky
- Speciální nástroje (výroba dle parametrů zákazníka) [9.]

Společnost je držitelem certifikátu EN ISO 90001:2008.



Obr 16 . Příklad nástrojů Cerin[9.]


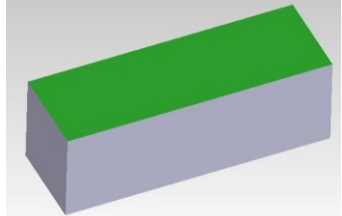
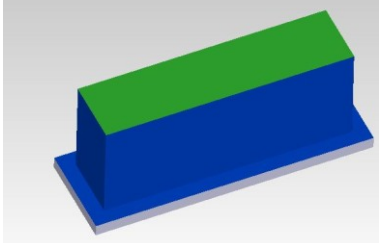
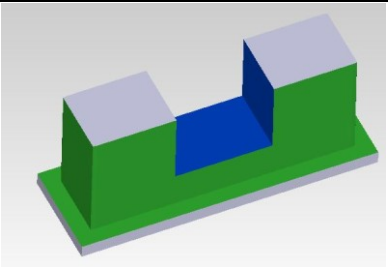
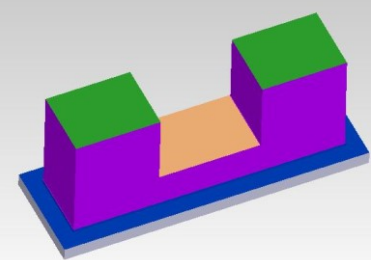
7. Výrobní postupy

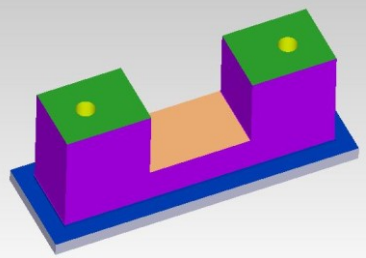
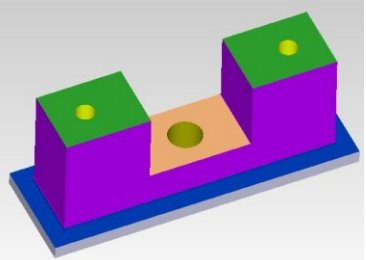
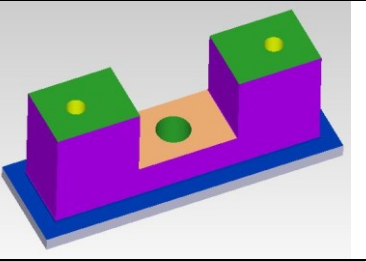
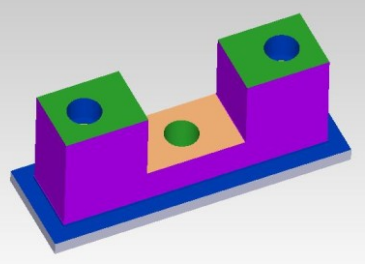
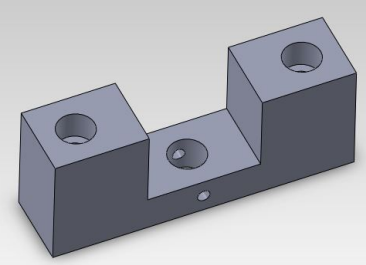
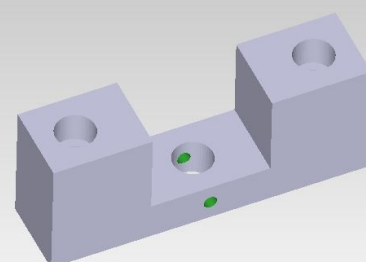
Tato část diplomové práce je zaměřena na popis výrobního postupu zadaných součástí. V první části tabulky je zapsáno číslo operace popis a zvolený nástroj pro obrábění, v druhé části je vyobrazen náhled na součást po dokončení operace. Tyto postupy nám pomohou stanovit strojní časy pro obrábění součástí.

Náhledy na součást a celý technologický postup je vytvořen v CAM programu HSMworks.

7.1 Výrobní postup součásti 1

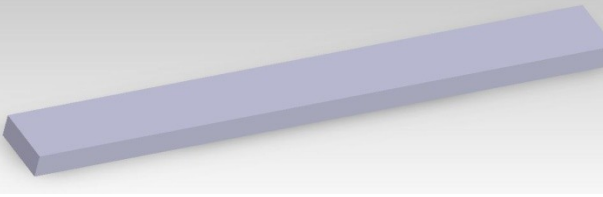
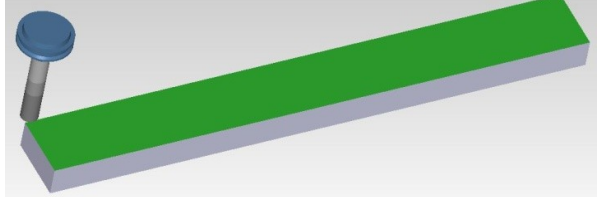
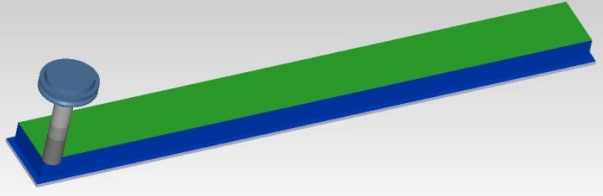
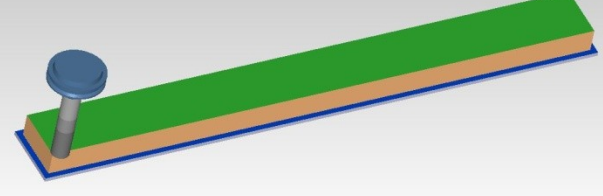
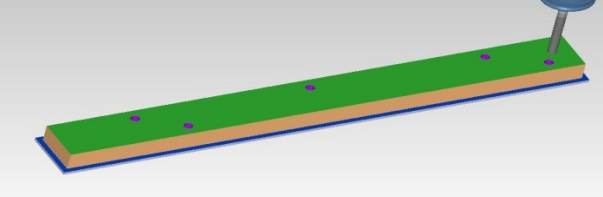
Tab. 6- výrobní postup součásti 1

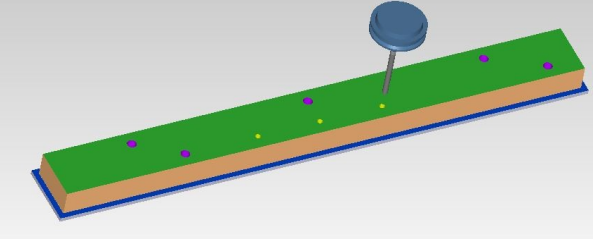
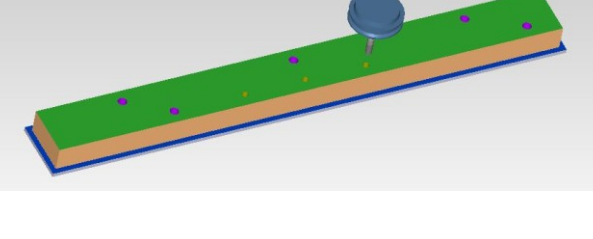
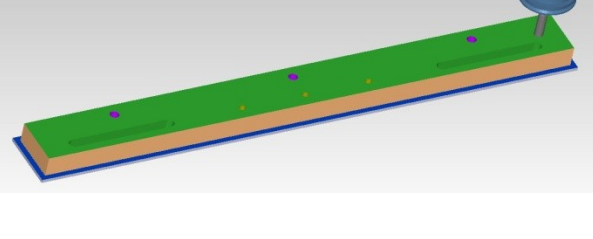
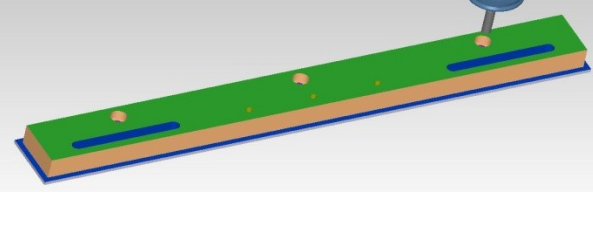
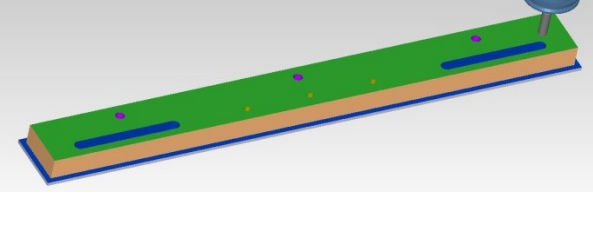
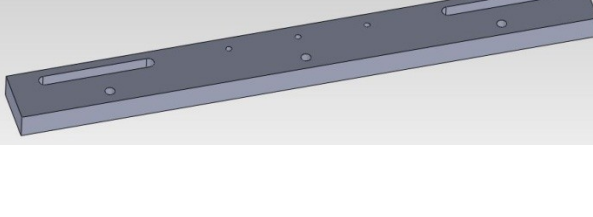
Operace obrábění	Náhled
Operace 1 Řezání Polotovar součásti je řezán z desky	
Operace 2 Obrobení čela Je provedeno frézou D16 Je to první operace pro zarovnání polotovaru	
Operace 3 Hrubování obvodu Je provedeno frézou D16 Ap=11mm Ae=5 Do t=33 Přídavek pro dokončení 0,2mm	
Operace 4 Hrubování Je provedeno frézou D16 Ap=20mm Ae=7,5 Přídavek pro dokončení 0,2mm	
Operace 5 dokončení obvodu Je provedeno frézou D16	

<p>Operace 6 Vrtání D 5,5</p> <p>Nástroj vrták 5,5</p> <p>Hloubka vrtání 35mm</p>	
<p>Operace 7 Vrtání D9,8</p> <p>Předvrtání otvoru 10H7</p> <p>Nástroj vrták 9,8</p> <p>Hloubka vrtání 36mm</p>	
<p>Operace 8 Dokončení otvoru 10H7</p> <p>Nástroj Výstružník 10H7</p> <p>Hloubka vrtání 34mm</p>	
<p>Operace 9 Frézování zhloubení</p> <p>Je provedeno frézou D5</p> <p>$A_p=8\text{mm}$ $A_e=2,25$</p> <p>Nájezd ve startovacím otvoru D5,5</p>	
<p>Operace 10 Frézování na $t=23\text{mm}$</p> <p>Je provedeno TK frézou D16</p> <p>$A_p=5\text{mm}$ $A_e=15$</p>	
<p>Operace 11 Vrtání D3,3</p> <p>Předvrtání pro závit M4</p> <p>Nástroj vrták 3,3</p> <p>Hloubka vrtání 22mm</p> <p>Dokončení závitu-ruční pracoviště</p>	

7.2 Výrobní postup součásti 2

Tab. 7- výrobní postup součásti 2

<p>Operace 1 Řezání</p> <p>Polotovar součásti je řezán z desky</p>	
<p>Operace 2 Obrobení čela</p> <p>Je provedeno frézou D16</p> <p>Je to první operace pro zarovnání polotovaru</p>	
<p>Operace 3 Hrubování obvodu</p> <p>Je provedeno frézou D16</p> <p>$A_p=24\text{mm}$ $A_e=5$</p> <p>Přídavek pro dokončení 0,2mm</p>	
<p>Operace 4 dokončení obvodu</p> <p>Je provedeno frézou D16</p> <p>$A_p=24\text{mm}$ $A_e=0,2$</p>	
<p>Operace 5 Vrtání D 8,5 na otvory pro šrouby a startovací otvory pro drážky</p> <p>Nástroj vrták 8,5</p> <p>Hloubka vrtání 30mm</p>	

<p>Operace 6 Předvrtání otvoru M6 Nástroj vrták D 5 Hloubka vrtání 26mm</p>	
<p>Operace 7 závitování otvoru M6 Nástroj závitník M6 Hloubka vrtání 26mm</p>	
<p>Operace 8 Hrubování drážky Je provedeno frézou D8 $A_p=10\text{mm}$ $A_e=8$ Do hloubky 24mm Přídavek 0,2mm</p>	
<p>Operace 9 Frézování zahloubení Je provedeno frézou D8 $A_p=10\text{mm}$ $A_e=3,25$</p>	
<p>Operace 10 Dokončení drážky Je provedeno frézou D10 $A_p=24\text{mm}$ $A_e=0,2$</p>	
<p>Operace 11 Frézování na $t=23\text{mm}$ Je provedeno frézou D16 $A_p=5\text{mm}$ $A_e=15$</p>	

8. Návrh nástrojů pro dané operace

Hlavní částí práce je návrh a porovnání nástrojů na obrábění plastových součástí ze dvou různých materiálů. Nástroje s označením Guehring ocel představují nástroje standardně používané ve firmě LUX na obrábění plastových součástí. Jedná se o nástroje běžně používané na ocel, které vykazují horší parametry při použití na plasty. Další dva druhy s označením Guehring na plast a Cerin jsou zvoleny dle doporučení výrobce na zadané plastové materiály. Jsou zde stanoveny řezné parametry podle doporučených hodnot výrobce.

Určování řezných parametrů je ovlivněno několika faktory:

- Obráběný materiál
- Počet zubů nástroje
- Velikost šířky a hloubky řezu

Návrh nástrojů také zahrnuje strojní časy obrábění, pro jednotlivé operace a jejich vyhodnocení. Tyto časy jsou určeny pomocí CAM programu HSMworks. Jedná se o strojní časy, které jsou určeny na danou operaci bez připočtení výměny nástroje a příjezdu nástroje nad obrobek.

V tabulkách návrhu nástrojů jsou zahrnuty tyto hodnoty:

- Nástroj- název společnosti a rozlišení
- Typ- katalogové číslo produktu
- V_c - řezná rychlost [m/min]
- F_z - posuv - frézování [mm/zub] (posuv na zub)
- F_n - vrtání, vystružování [mm/U] (posuv na otáčku)
- Materiál- materiál nástroje
 - HM (hard metal)
 - HSS-E (vysoce výkonná rychlořezná ocel)
 - HSCO ()

8.1 Součást 1




Součást 1 je vyrobena z materiálu POM-C, který je vhodný pro toto využití díky jeho vysoké pevnosti a dobré rozměrové stálosti.

Operace 2,3,4,5

Pro tyto operace je zvolena HM fréza D 16.

Pro dokončení je zvolen standardní přídavek 0,2 na stěnu.

Tab. 8- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fz	Materiál	Náhled
Gühring ocel	3649/16	90	0,03	HM	 [9]
Gühring plast	3319/16	147	0,058	HM	 [9]
Cerin	103-45° D16	300	0,136	HM	 [10]




Tab. 9- Strojní čas operace:

Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	5,12	2,20	1,29

Operace 6

Tato operace je prováděna vrtákem D 5,5. technologie vrtání s plným vyjetím po 5mm

Tab. 10- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fn	Materiál	Náhled
Gühring ocel	511 D5,5	27	0,1	HSCO	 [9]
Gühring plast	2464 D5,5	65	0,063	HM	 [9]
Cerin	165 D5,5	80	0,11	HM	 [10]

Tab. 11- Strojní čas operace:

Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	0,53	0,43	0,34




Operace 7

Tato operace je prováděna vrtákem D9,8 pro předvrtání otvoru 10H7

Rozměr pro předvrtání je určen dle strojírenských tabulek

Vrtání je provedeno bez dodatečných výjezdů nástroje.

Tab. 12- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fn	Materiál	Náhled
Gühring ocel	511 D9,8	27	0,18	HSCO	 [9]
Gühring plast	2464 D9,8	65	0,125	HM	 [9]
Cerin	165 D9,8	80	0,16	HM	 [10]

Tab. 13- Strojní čas operace:




Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	0,23	0,20	0,19

Operace 8

Operace 8 je dokončení otvoru 10H7

Je použita technologie vystružování kde je stejný pracovní posuv i posuv výjezdu z otvoru.

Tab. 14- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fn	Materiál	Náhled
Gühring ocel	468 10H7	14	0,315	HSS-E	 [9]
Gühring plast	1429 10H7	22	0,315	HM	 [9]
Cerin	133 10H7	15	0,25	HM	 [10]

Tab. 15- Strojní čas operace:

Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	0,31	0,25	0,33




Operace 9

Jde o dokončení zahloubení frézou D 5mm

Zde je využito předvrtání 5,5, které je využito jako startovací otvor pro frézování

Max velikost třísky $A_p=8\text{mm}$, $a_e=2,25\text{mm}$

Tab. 16- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fz	Materiál	Náhled
Gühring ocel	3304/5	50	0,009	HM	 [9]
Gühring plast	5743/5	90	0,014	HM	 [9]
Cerin	102SV D5	200	0,035	HM	 [10]

Tab. 17- Strojní čas operace:




Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	0,46	0,37	0,20

Operace 10

Po otočení součásti následuje frézování rozměru $t=32$

$A_p=5\text{mm}$, $a_e=15\text{mm}$

Tab. 18- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fz	Materiál	Náhled
Gühring ocel	3649/16	90	0,03	HM	 [9]
Gühring plast	3319/16	147	0,058	HM	 [9]
Cerin	103-45° D16	300	0,136	HM	 [10]

Tab. 19- Strojní čas operace:




Výrobce	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	1,38	0,42	0,27

Operace 11

Vrtání otvoru pro závit M4

Je použita technologie hlubokého vrtání s plným vyjetím po 3mm

Tab. 20- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fn	Materiál	Náhled
Gühring ocel	511 D3,3	27	0,08	HSCO	 [9]
Gühring plast	2464 D3,3	65	0,05	HM	 [9]
Cerin	165 D3,3	80	0,08	HM	 [10]

Tab. 21- Strojní čas operace:

Výrobce	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	0,38	0,35	0,32

Výsledný čas součásti

Tab. 22- výsledné časy

Výrobce	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Výsledný čas v min	9,49	5,29	4,02

Z tabulky výsledných časů je zřejmé, že společnost Cerin je schopna nabídnout nástroje, které nám podstatně sníží čas obrábění. Při bližším pohledu na jednotlivé strojní časy zjistíme, že hlavní předností nástrojů od firmy Cerin je frézování. Zde jejich technologie převyšuje nástroje od společnosti Guehring nejvíce. Tento časový rozdíl je samozřejmě ovlivněn řeznými rychlostmi a rychlostmi posuvů.




8.2 Součást 2

Součást číslo dvě je vyrobena z materiálu Murtfeldt S, který je podobný materiálu POM-C. Tento materiál má však menší mez pevnosti. Z tohoto důvodu můžeme použít stejné nástroje jako u předchozí součásti ale musíme upravit řezné parametry dle doporučení výrobce. Tyto parametry jsou voleny s ohledem na materiál a velikost třísky.

Operace 2,3,4

Jde o operace, zarovnání čela, hrubování a dokončení obvodu součásti. Na tyto operace je použita fréza D=16mm, která nejlépe splňuje požadavky na velikost třísky. Maximální záběr frézy je $a_p=24\text{mm}$ a $a_e=5\text{mm}$. Díky tomuto poměru jsou vybírány řezné parametry.

Tab. 23- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fz	Materiál	Náhled
Gühring ocel	3649/16	80	0,038	HM	 [9]
Gühring plast	3319/16	147	0,058	HM	 [9]
Cerin	103-45° D16	250	0,192	HM	 [10]

Tab. 24- Strojní čas operace:




Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	20,53	7,44	1,45

Operace 5

Tato operace je prováděna vrtákem D 8,5. Jde o vrtání děr pro šrouby a vrtání startovacích otvorů pro frézování drážek.

Vrtání je provedeno bez dodatečných výjezdů nástroje.

Tab. 25- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fn	Materiál	Náhled
Gühring ocel	511 D8,5	27	0,16	HSCO	 [9]
Gühring plast	2464 D8,5	52	0,14	HM	 [9]
Cerin	165 D8,5	70	0,16	HM	 [10]

Tab. 26 Strojní čas operace:




Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	1,32	1,04	0,49

Operace 6

Tato operace je prováděna vrtákem D=5mm. Jde o otvor pro závit M6

Je použita technologie hlubokého vrtání s plným vyjetím po 5mm

Tab. 27- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fn	Materiál	Náhled
Gühring ocel	511 D5	27	0,1	HSCO	 [9]
Gühring plast	2464 D5	52	0,08	HM	 [9]
Cerin	165 D5	70	0,1	HM	 [10]

Tab. 28 Strojní čas operace:



Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	0,51	0,39	0,31

Operace 7

Operace 7 je dokončení závitu M6. Pro tuto operaci je zvolen závitník pro průchozí díry.

Hodnota fz je stanoven velikostí stoupání závitu.

Tab. 29- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fz	Materiál	Náhled
Gühring ocel	2876 M6	15		HSS-E	 [9]
Gühring plast	2876 M6	20		HSS-E	 [9]
Cerin					Cerin závitníky nevyrábí

Tab. 30 Strojní čas operace:




Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	0,21	0,17	0,17

Operace 8,9

Jde o operace hrubování dokončení drážek a frézování zahloubení pro šroub. Je zvolen nástroj D=8mm. Nástroj začíná obrábění ve startovacím otvoru který byl vytvořen v operaci č.5

Max. velikost odebíraného materiálu $a_p=10\text{mm}$ $a_e=8\text{mm}$.

Tab. 31- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fz	Materiál	Náhled
Gühring ocel	3304/8	50	0,016	HM	 [9]
Gühring plast	5743/8	90	0,024	HM	 [9]
Cerin	102SV D8	250	0,096	HM	 [10]

Tab. 32 Strojní čas operace:




Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	5,04	4,36	3,24

Operace 11

Po otočení součásti následuje frézování rozměru $t=23$

$A_p=5\text{mm}$, $a_e=15\text{mm}$

Tab. 33- parametry nástrojů

Nástroj	Typ	Vc	Fz	Materiál	Náhled
Gühring ocel	3649/16	80	0,038	HM	 [9]
Gühring plast	3319/16	147	0,058	HM	 [9]
Cerin	103-45° D16	250	0,192	HM	 [10]

Tab. 34 Strojní čas operace:

Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	8,48	3,18	0,48

Výsledný čas součásti

Tab. 35- výsledné časy

Nástroje	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Celkový čas v min	37,26	17,40	7,36

Při pohledu na konečné strojní časy je zřejmé, že společnost Cerin je schopna nám nabídnout jednoznačně nejlepší výsledky. Při bližším zkoumání jednotlivých operací, můžeme říci, že konečný čas nejvíce ovlivňují frézovací nástroje. Tyto nástroje od společnosti Cerin nabízejí podstatně vyšší řezné posuvové rychlosti než konkurence v podobě společnosti Gühring. Při pohledu na vrtací nástroje jsou také vrtáky společnosti Cerin na prvním místě, ale rozdíly časů jednotlivých operací nejsou tak rozdílné, jako je tomu u frézování.

9. Ekonomické zhodnocení navrhovaných nástrojů

V této části práce se zaměříme na celkové vyhodnocení ekonomiky součástí.

Vyhodnocení je zpracováno pro výrobu jednoho kusu.

9.1 Vyhodnocení časů výroby

Doba přípravy (v min.)

Tab. 36- čas přípravy

Operace	Součást 1.	Součást 2.
Řezání	15	25
Příprava programu	20	25
Příprava nástrojů + upnutí	45	75
Celkem	80	125

Výsledné časy:

Tab. 37- výsledné časy součásti 1

Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	9,49	5,29	4,02
Přípravné operace	80	80	80
Součet	89,49	85,29	84,02

Tab. 39- výsledné časy součásti 2

Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Čas operace v min	37,26	17,40	7,36
Přípravné operace	125	125	125
Součet	162,26	142,4	132,36

Z vyhodnocených celkových časů výroby vyplývá, že použitím nástrojů od společnosti Cerin, jsme schopni dosáhnout nejlepších výsledků. Tyto výpočty jsou zhotoveny pro výrobu jednoho kusu. Při výrobě více kusů, by nám strojní časy velmi výrazně ovlivnily konečnou cenu výrobků.

9.2 Konečné náklady na výrobu

Polotovary:

Tab. 40- ceny polotovarů

Součást	Materiál	polotovary	cena
Součást 1.	POM-C	90x40x30	50Kč
Součást 2.	Murtfeld S	510x60x30	990Kč

Konečná cena výrobků

Tab. 41- konečná cena součást 1

Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Výrobní čas v min.	89,49	85,29	84,02
Hodinová sazba v Kč	600	600	600
Cena výroby v Kč	894,9	852,9	840,2
Cena polotovaru v Kč	50	50	50
Celková cena v Kč	944,9	902,9	890,2

Při výrobě jednoho kusu jsme schopni ušetřit 55 Kč použitím nástrojů od společnosti Cerin a 42 Kč použitím nástrojů od společnosti Gühring

Tab. 42- konečná cena součást 2

Nástroj	Gühring ocel	Gühring plast	Cerin
Výrobní čas v min.	162,26	142,4	132,36
Hodinová sazba v Kč	600	600	600
Cena výroby v Kč	1 622	1 424	1 323
Cena polotovaru v Kč	990	990	990
Celková cena v Kč	2 612	2 414	2 313

Při výrobě jednoho kusu jsme schopni ušetřit 299 Kč použitím nástrojů od společnosti Cerin a 198 Kč použitím nástrojů od společnosti Gühring.

9.3 Náklady na nástroje

S ohledem na časy vrtání, které podstatně neovlivní strojní čas, jsme zvolili do závěrečného vyhodnocení jen nástroje pro operace frézování. Tyto nástroje velmi významně mění strojní časy výroby.

Ceny nástrojů jsou uvedeny bez DPH.

Frézovací nástroje pro součást 1.

Tab. 43- ceny nástrojů pro součást 1

Typ	Katalog. číslo	Cena (Kč)	Katalog. číslo	Cena (Kč)
Gühring ocel	3304/5	286	3649/16	2 746
Gühring plast	5743/5	391	3319/16	1 990
Cerin	102SV D5	2 583	103-45° D16	5 435

Frézovací nástroje pro součást 2.

Tab. 44- ceny nástrojů pro součást 2

Typ	Katalog. číslo	Cena (Kč)	Katalog. číslo	Cena (Kč)
Gühring ocel	3304/8	419	3649/16	2 746
Gühring plast	5743/8	448	3319/16	1 990
Cerin	102SV D8	3 058	103-45° D16	5 435

Z těchto údajů vyplývá, že nástroje od společnosti Cerin, nám sice podstatně sníží strojní časy, ale jejich pořizovací cena je velmi vysoká.

Tato práce je zpracována pro výrobu jednoho kusu od každé součásti. Z tohoto důvodu je vhodnější využít nástroje s označením Gühring plast, které nám také přinášejí úsporu, ale jejich pořizovací cena je podstatně nižší.

10. Závěr

Hlavním cílem této práce byl návrh nástrojů a řezných parametrů pro společnost LUX s.r.o., která se zabývá výrobou jednoúčelových strojů. Firma LUX s.r.o. používá pro konstrukci strojů mnoho odlišných materiálů a pro tuto práci byl vybrán plast POM-C a plast Murtfeldt S. Tyto materiály jsou často užívané jako tlumící a kluzné části strojů pro své dobré mechanické vlastnosti.

Úvodní část této práce je zaměřena na základní rozdělení plastových materiálů, jejich průmyslové zpracování a využití. Z této části je zřejmé že plastové materiály nacházejí stále větší uplatnění v konstruování strojů pro své specifické mechanické vlastnosti.

V první kapitole praktické části jsou údaje o použitých materiálech, jako například jejich využití a mechanické vlastnosti. Dále je popis stroje, pro který jsou nástroje zvoleny. Kapitola 6 obsahuje popis zvolených výrobců nástrojů. Od těchto výrobců jsou dále vybírány nástroje.

V části s názvem Výrobní postupy jsou zpracovány postupy pro zadané součásti se stanovením průměrů nástrojů a s náhledy na součásti po vykonání operace. Veškeré náhledy na součásti jsou vytvořeny v programu HSMworks.

Nejdůležitější částí diplomové práce je návrh a porovnání nástrojů. Nástroje s názvem Guehring ocel představují nástroje, které používá společnost LUX s.r.o. Dle materiálu a dané operace jsme zvolili nástroje, které jsou určené přímo pro námi požadovanou aplikaci. Jde o nástroje s názvem Guehring plast a Cerin. Po vyhodnocení celkových strojních časů a po vyhodnocení ekonomické části můžeme konstatovat, že námi zvolené nástroje jsou podstatně rychlejší než doposud používané. Ze závěrečného vyhodnocení vyplívá, že díky frézovacím nástrojům od firmy Cerin jsme schopni výrobu podstatně zrychlit. Z dosažených výsledků je patrné, že největší podíl na strojním čase obrábění mají právě frézovací nástroje. Nástroje pro vrtání otvorů jsou od společnosti Cerin také výhodné ale jejich časový podíl na konečném výrobku není tak zásadní.

Tato práce je zpracována pro výrobu jednoho kusu od každé součásti. Z tohoto důvodu vyplívá, že by bylo vhodnější využít nástroje s označením Gühring plast, které nám také přinášejí úsporu, ale jejich pořizovací cena je podstatně nižší.

11. Seznam použité literatury

- [1.] Plasty a kompozity naplňují materiálové požadavky moderního strojírenství. [online]. 2005 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-a-kompozity-naplnuji-materialove-pozadavky-moderniho-strojirens.html>
- [2.] Požadavky na kvalitu a reálné možnosti technologie vstřikování. [online]. 2010 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pozadavky-na-kvalitu-a-realne-moznosti-technologie-vstrikovani.html>
- [3.] ŘASA, Jaroslav, GABRIEL, Vladimír. Strojírenská technologie 3: Metody, stroje a nástroje pro obrábění 1. vyd. Praha : Scientia, 2000. 2 sv. (256, 221 s.). ISBN 80-7183-207-3.
- [4.] Www.ksp.tul.cz. *Technická univerzita Liberec* [online]. 2008 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [5.] Polyoxymethylen copolymer (POM-C). LPM. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=1202&lng=1>
- [6.] Polyacetál POM. POLY PLASTY. [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://ne.polyplasty.cz/index.php?page=polyacetal-pom>
- [7.] Originální Materiál "S". *Murtefeldt Produkty* [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.murtefeldt.cz/produkty/werkstoffe/technicke-materialy-1/originalni-material-s/>
- [8.] Trendy v povlakování slinutých karbidů. *Obráběcí stroje a technologie* [online]. 2001 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu.html>
- [9.] CERIN. [online]. Verona - Italia: MINIATO [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.cerin.it/catalogue.pdf>
- [10.] GÜHRING. *Navigator: výběr nástroje* [online]. 2013. vyd. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://navigator.guehring.de/navigator/index.php?mod=sta>
- [11.] LUX s.r.o. [online]. Poslední aktualizace 18.4.2012, [cit. 18-4-2012]. URL: < <http://www.lux.cz/en/company-profile-cs> >

- [12.] Návod na obrábění polotovarů technických plastů. *Epp plasty* [online]. 2012 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.eppplasty.cz/obrabeni.php>

12. Seznam příloh

Příloha č. 1: Výkres součásti č. 1

Příloha č. 2: Výkres součásti č. 2